

Streszczenie

W rozprawie doktorskiej przedstawiono koncepcję Adaptacyjnego Tłumika Uderzeniowego (ang. Adaptive Tuned Particle Impact Damper - ATPID) i jego zastosowanie do tłumienia drgań mechanicznych. Zaproponowana koncepcja polega na modyfikacji klasycznego Tłumika Uderzeniowego (ang. Impact Damper - ID), który składa się z obudowy oraz dodatkowego elementu (najczęściej granulatu) zdolnego do swobodnego ruchu wewnątrz obudowy. Amortyzator ATPID został wzbogacony o dodatkowe elementy elektromechaniczne, głównie silnik elektryczny zmieniający położenie sufitu obudowy, co pozwala na zmianę objętości tłumika w czasie rzeczywistym. Proponowany prototyp tłumika wyposażony jest w układ pomiarowy, tworzącym urządzenie o możliwościach adaptacyjnych poprzez dostosowywanie się do aktualnie występującego wymuszenia.

W pracy podjęto próbę przedstawienia pełnego opisu kolejnych etapów rozwoju tłumika ATPID. W pierwszym rozdziale rozprawy dokonano przeglądu literatury podobnych rozwiązań technicznych. Opisano główne typy amortyzatorów oraz ich praktyczne zastosowanie w środowisku inżynierskim. W kolejnym rozdziale zaproponowano metodologię badań eksperymentalnych. W tym celu skonstruowano prototyp urządzenia oraz zbudowano stanowisko badawcze uwzględniające układ pomiarowy. Szczegółowo opisano plan badań obejmujący analizę drgań swobodnych i harmoniczných belki wspornikowej z tłumikiem ATPID zamocowanym na jej swobodnym końcu. Przeprowadzono ponad 100 pomiarów eksperymentalnych dla różnych parametrów układu, takich jak amplituda i częstotliwość wymuszenia, masa granulatu i wysokość tłumika. Zarówno przemieszczenie, jak i przyspieszenie belki w punkcie mocowania amortyzatora mierzono za pomocą czujnika laserowego, akcelerometru, kart pomiarowych oraz dedykowanego oprogramowania pomiarowego.

Dalsza część rozprawy dotyczy opracowania modelu numerycznego tłumika ATPID oraz zaproponowanego stanowiska badawczego. Analizy teoretyczne opierają się na odwzorowaniu zderzenia granulatu ze ściankami obudowy z wykorzystaniem teorii miękkiego kontaktu. Dodatkowo uwzględniono zmienną wysokość obudowy umożliwiającą kontrolę położenia sufitu urządzenia. Model numeryczny został zweryfikowany na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Wykonano szereg analiz wrażliwości w celu szczegółowego opisanie zasady działania proponowanego tłumika. Ponadto przeprowadzono

analizę energetyczną w celu określenia wpływu poszczególnych zderzeń na zmianę dynamiki badanego układu. Przeprowadzono optymalizację parametryczną, która pozwoliła na sformułowanie kryteriów optymalnego ruchu granulatu z punktu widzenia tłumienia drgań. W dalszej części sformułowano ogólną koncepcję strategii sterowania Adaptacyjnego Tłumika Uderzeniowego. Przedstawiono algorytm sterowania predykcyjnego, ułatwiający poszukiwanie optymalnych wysokości obudowy dla przyjętych parametrów układu i aktualnych warunków pracy.

Rozprawa przedstawia kompleksowe badanie koncepcji Adaptacyjnego Tłumika Uderzenia, w tym badania eksperymentalne, modelowanie numeryczne i rozwój predykcyjnego algorytmu sterowania. Proponowana koncepcja ma znaczny potencjał praktycznych zastosowań w różnych układach mechanicznych, wykorzystywanych w inżynierii lotniczej i motoryzacji.

Słowa kluczowe: Adaptacyjny Tłumik Uderzeniowy, tłumienie drgań, adaptacyjno-pasywne tłumienie, sterowalny tłumik, funkcja sterująca, analiza wrażliwości, optymalizacja parametryczna, strategia sterowania w czasie rzeczywistym, .

Abstract

The doctoral dissertation presents the concept of the Adaptive Tuned Particle Impact Damper (ATPID) and its application for adaptive mechanical vibration damping. The proposed concept involves modification of the classical Impact Damper (ID), which consists of a container and an additional element (usually grain) capable of free movement. The ATPID damper is enhanced with additional electromechanical elements, mainly an electric motor that changes the position of the upper container wall, allowing for real-time changes in the volume of the damper. The proposed damper prototype is equipped with a measurement system, creating a device with tunable vibration damping by adaptation to the actual excitation.

The thesis attempts to presents a complete description of subsequent stages of development of the ATPID. The dissertation starts with a literature review of similar technical solutions. The main types of impact dampers and their practical applications in the engineering environment are described. In the following chapter, an experimental research methodology is proposed. For this purpose, an ATPID prototype is constructed, and a test stand is built along with a measurement system. The research plan is described in detail, including free and harmonic vibration analyses of a cantilever beam with the ATPID damper attached at its free end. Over 100 experimental measurements are conducted for different system parameters, such as excitation frequency or amplitude, grain mass, and damper height. Both displacement and acceleration of the beam at the damper attachment point are measured using a laser sensor, accelerometer, measuring cards and dedicated measurement software.

The further part of the dissertation concerns the development of a numerical model of the ATPID damper and the test stand. Theoretical analyses are based on the grain collisions with the damper walls using the theory of soft contact. Additionally, a tuned container height allowing control of the damper wall position is taken into account. The numerical model is validated based on previously conducted experimental measurements. A series of sensitivity analyses were performed to describe the detailed operation principle of the proposed device. Furthermore, an energy balance analysis is carried out to define the influence of the collisions on the change in the dynamics of the tested system. A parametric optimization is performed, which allows for the formulation of the criteria for the optimal particle movement from the perspective of vibration damping. In the following part, a general concept of the Adaptive Impact Damper control strategy is formulated. A predictive control algorithm is presented, facilitating the search for optimal damper heights for adopted system parameters and current operating conditions.

The dissertation presents a comprehensive study of the Adaptive Tuned Particle Impact Damper concept, including experimental research, numerical modelling, and control strategy development. The proposed concept has significant potential for practical applications in various mechanical systems, used in aerospace and automotive engineering.

Keywords: Adaptive Tuned Particle Impact Damper, Damping of vibrations, Adaptive passive damping, Controllable damper, Control function, Sensitivity analysis, System optimization, Real-time control strategy.